

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robototechniky

**Konstrukční návrh motorizovaného nákupního vozíku
pro supermarkety**

Mechanical Design of a Motorized Shopping Cart for Superstores

Student:

Michal Poštulka

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Václav Krys, Ph.D.

Ostrava 2011

Zadání bakalářské práce

Student: **Michal Poštulka**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2301R013 Robotika
Specializace: 70 Robotika
Téma: **Konstrukční návrh motorizovaného nákupního vozíku pro supermarkety**
Mechanical Design of a Motorized Shopping Cart for Superstores

Zásady pro vypracování:

1. Analyzujte možnosti nasazení motorizovaných nákupních vozíků v supermarketech a hypermarketech. Specifikujte požadavky a omezení pro navrhovaný nákupní vozík. Provedte rešerši použitelných pohonů a energetických zdrojů.
2. Navrhněte varianty koncepčního řešení motorizovaného nákupního vozíku.
3. Vybrané koncepční řešení detailně rozpracujte do úrovně detailního 3D modelu.
4. Práci doplňte podrobnou technickou dokumentací. Výkresovou dokumentaci vypracujte dle pokynů vedoucího práce.
5. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu MS WORD a konstrukční řešení v CAD systému (podle pokynů vedoucího).

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

NOVÁK, P. *Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení*. 1. vydání. Praha: BEN Praha, 2005. 247 s. ISBN 80-7300-141-1.

KÁRNÍK, L. *Servisní roboty*. 1. vydání. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2004. 139 s. ISBN 80-248-0626-6.

KÁRNÍK, L.; KNOFLÍČEK, R.; MARCINČIN, J. N. *Mobilní roboty*. 1. vydání. Opava: Mafy Slezsko, 2000. 212 s. ISBN 80-902746-2-5.

DRASTÍK, F. *Technické kreslení I. – pravidla tvorby výkresů ve strojírenství*. 2. vydání. Ostrava: Montanex Ostrava, 2005. 260 s. ISBN 87-7225-195-3.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

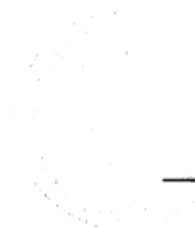
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Václav Krys, Ph.D.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011



prof. Dr.Ing. Petr Novák
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 23.5.2011

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem celou bakalářskou práci, včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.
- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....

Michal Poštulka

Por. Hoši 31

Kozmice

747 11

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Poštulka, M.: Konstrukční návrh motorizovaného nákupního vozíku pro supermarket: bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robototechniky, 2011, 50 s.

Vedoucí práce: Krys, V.

Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem motorizovaného nákupního vozíku pro supermarket. Úvod bakalářské práce je zaměřen na průzkum nákupních vozíků používaných v supermarketech a všude tam, kde je jich potřeba. Další kapitola tvoří vypracované varianty řešení, ze kterých díky hodnotové analýze byla vybrána optimální varianta. Práce obsahuje 3D model optimální varianty vytvořený v programu Pro/Engineer, na jehož základě byl vypracován sestavný výkres v programu AutoCAD a propočteny jednotlivé části motorizovaného vozíku.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

Poštulka, M.: Mechanical Design of a Motorized Shopping Cart for Superstores: Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of robotic, 2011, 50 s.

Thesis head: Krys, V.

This bachelor's thesis deals with design of motored shopping cart for supermarkets. The introduction of this thesis is focused on survey of shopping carts used in supermarkets and everywhere else, where they are needed. Next chapter consists of working out the version solutions, and choosing the optimal variant. This thesis also consists the 3D model of optimal variant made in program Pro/Engineer, and on its base I have made a final drawing in AutoCAD and I have calculated each parts of motored cart.

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Václavovi Krysovi, Ph.D. za odborné vedení práce a rady, také děkuji všem ostatním vyučujícím katedry robototechniky za vstřícnost a ochotu poskytovat cenné rady a připomínky.

Obsah

Seznam použitých značek.....	10
Úvod.....	12
1. Analýza problematiky.....	13
1.1. Všeobecný popis nákupního vozíku.....	13
1.2. Základní rozdělení vozíků.....	14
1.3. Energetické zdroje pro mobilní podvozky (Akumulátory).....	15
1.3.1. Olověné akumulátory.....	17
1.3.2. Lithiové akumulátory.....	17
1.4. Pohon mobilních podvozků.....	18
2. Požadavkový list.....	20
3. Navržené varianty.....	21
3.1. Navržené varianty vozíku pro malý nákup.....	21
3.2. Navržené varianty transportních vozíků.....	23
4. Výběr vhodné varianty.....	26
4.1. Analýza využití jednotlivých typů.....	26
4.2. Hodnotová analýza.....	27
4.2.1. Kritéria rozhodování.....	27
4.2.2. Zhodnocení kritérií.....	28
4.2.3. Váha významnosti jednotlivých kritérií.....	29
4.2.4. Výpočet vážených indexů I_{ij} jednotlivých variant.....	29
4.2.5. Součet vážených indexů a stanovení pořadí variant.....	30
5. Konstrukce motorizovaného nákupního vozíku.....	31
5.1. Základní parametry motorizovaného vozíku.....	33
6. Parkování a dobíjení motorizovaného vozíku.....	33
6.1. Parkování motorizovaného vozíku.....	33
6.2. Dobíjení motorizovaného vozíku.....	34
6.2.1. Možnosti dobíjení.....	34
7. Technická zpráva a výpočty.....	36
7.1. Určení pohonu motorizovaného vozíku	36
7.1.1. Určení otáček poháněného kola.....	36
7.1.2. Rozložení hmotnosti na vozíku.....	37

7.1.3. Určení působících sil a výpočet celkové síly F	37
7.1.4. Určení krouticího momentu M_k	38
7.2. Výpočet výdrže akumulátorů.....	39
7.3. Kontrola životnosti ložiska.....	42
7.4. Kontrola hnané hřídele.....	44
8. Závěr.....	47
9. Seznam použité literatury a zdrojů	48
10. Seznam příloh.....	50

Seznam použitých značek

Symbol	Význam	Jednotka
a	Šířka ložiska	[mm]
a_z	Zrychlení vozíku	[m/s ²]
C	Kapacita akumulátoru	[Ah]
C_R	Dynamická únosnost ložiska	[N]
D_1	Nejmenší průměr v místě A	[mm]
D_2	Nejmenší průměr v místě B	[mm]
D_P	d'Alambertova síla	[N]
F	Celková síla potřebná pro pohyb	[N]
F_A	Axiální síla	[N]
F_R	Radiální síla	[N]
G	Gravitační síla	[N]
g	Gravitační zrychlení	[m/s ²]
i	Převodový poměr	[-]
I_{An}	Maximální nabíjecí proud akumulátoru	[A]
I_{Av}	Maximální vybíjecí proud	[A]
I_M	Proud motoru	[A]
I_S	Setrvačný moment poháněného kola	[kg m ²]
k	Součinitel bezpečnosti	[-]
l	Vzdálenost ložiska ke středu kola	[mm]
M_A	Hmotnost akumulátoru	[kg]
M_C	Celková hmotnost vozíku	[kg]
M_D	d'Alambertův moment	[Nm]
M_K	Krouticí moment	[Nm]
M_{KM}	Krouticí moment na motoru	[Nm]
M_M	Hmotnost motoru	[kg]
M_{MP}	Výstupní moment s převodovky	[Nm]
M_N	Nosnost vozíku	[kg]
M_{Ored}	Redukovaný moment	[Nm]
M_O	Ohybový moment	[Nm]

M_{Pmax}	Maximální krouticí moment převodovky	[Nm]
M_P	Hmotnost převodovky	[kg]
M_V	Hmotnost vozíku	[kg]
N	Normálová síla	[N]
n	Otáčky poháněného kola	[min ⁻¹]
n_M	Otáčky motoru	[min ⁻¹]
n_{Pmax}	Maximální otáčky převodovky	[min ⁻¹]
P	Třecí síla	[N]
R_I	Poloměr poháněného kola	[mm]
U_A	Napětí akumulátoru	[V]
U_M	Napětí motoru	[V]
v	Rychlost vozíku	[m/s]
W_O	Modul průřezu v ohybu	[mm ³]
W_K	Modul průřezu v krutu	[mm ³]
α	Úhel stoupání	[°]
α_B	Bachův opravný součinitel	[-]
ε	Úhlové zrychlení	[rad/s ²]
μ	Součinitel smykového tření	[-]
ξ	Součinitel valivého tření	[-]
σ_{Do}	Dovolené napětí v ohybu	[MPa]
σ_{red}	Redukované napětí	[MPa]
τ_{Dk}	Dovolené napětí v krutu	[MPa]
τ_K	Napětí v krutu	[MPa]

Úvod

Trendem několika posledních let je snaha ulehčit a zjednodušit člověku většinu práce, kterou vykonává a tím také získat větší bezpečnost, díky tomu dochází k velkému rozvoji robotiky a všech jejích částí. Tento vývoj můžeme spatřit ve všech možných odvětvích jako je stavebnictví, lékařství, zemědělství, strojírenství, údržba, ale také i v samotné domácnosti.

Téma této bakalářské práce je „Konstrukční návrh motorizovaného nákupního vozíku pro supermarkety“. Hlavní myšlenkou bylo vytvořit takový nákupní vozík, který by lidem usnadnil práci při nakupování a všude tam, kde se nákupní vozíky využívají. V první fázi bylo nutné analyzovat současné, využívané typy vozíků a určit, který by získal co největší možné uplatnění. V úvahu byly brány taková kritéria, jako je využitelnost, provoz, údržba, na základě kterých byl vybrán typ - transportní vozík.

Transportní vozík se vyznačuje robustnější konstrukcí, která je určena pro převoz objemnějších nákladů. Při možnosti velkého naložení tohoto vozíku vzniká uživateli značný problém s jeho manipulací (tlačení, zatáčení), které není zrovna jednoduché, z tohoto důvodu byl vytvořen vozík s vlastním pohonem, díky němuž dojde k usnadnění této činnosti. Vozík se také vyznačuje tím, že je možné ho vybavit dalšími prvky, které uživateli ještě více zjednoduší prováděnou činnost. Mezi tyto prvky můžeme zahrnout čtečku čárových kódů, minipočítač s navigací v daném umístění jednotlivých nákupních oddělení a kalkulátorem.

Bakalářská práce nespočívá jenom v samotném řešení vozíku, ale také zahrnuje jejich uskladnění. Při využití pohonu je také třeba brát ohled na potřebnou energii a její následné doplnění. Cílem proto bylo vytvořit takovou možnost uskladnění vozíků, při kterém se dobijí a nezaberou zbytečně moc místa.

1. Analýza problematiky

1.1. Všeobecný popis nákupního vozíku

Nákupní vozík je vozidlo, do něž zákazníci v samoobslužných prodejnách shromažďují zboží, které hodlají nakoupit, dopravují k pokladně a u některých prodejen případně i na parkoviště k svému automobilu. V dnešní době jde o neodmyslitelnou lidskou pomůcku. [11]

Technické provedení

Nákupní vozíky se obvykle skládají ze třech hlavních částí a to z rámu, nákupního koše a otočných kol. Dalšími prvky, kterými může být vozík vybaven, jsou bezpečnostního a organizačního charakteru, např. orientační mapa s umístěním jednotlivých oddělení, držáku pro upnutí papíru se seznamem nákupu.

Rám

Jedná se o hlavní část vozíku. Bývají vyrobeny s tenkostěnných ocelových či hliníkových profilů, u vozíku menších nosností bývá využito i plastových konstrukcí. Důležitou vlastností rámu je odolnost vůči vnějším vlivům, proto bývají různě povrchově opracovány a to např. nátěrem, pozinkováním atd. [12]

Nákupní koš

Jsou obvykle drátěné, nebo jiného takového provedení, aby do nich bylo ze všech stran dobře vidět. Bývají také vybaveny dětskou sedačkou, pro přepravu malého dítěte, které s sebou nakupující vzal na nákup. [12]

Otočné kola

Díky pogumované ploše zaručují tichý a spolehlivý chod vozíku v prostorách obchodu i mimo něj. Jsou vyráběny ve velkém množství variant, které se liší v nosnosti, průměru kola, způsobem uchycení k rámu a typu použitého materiálu. Otočná kola se také vyrábějí

s brzdou či mechanismem, který zabraňuje rozjetí pomocí samospádu v prodejnách s šikmými pohyblivými chodníky (travelátory). [14]

1.2. Základní rozdělení vozíků

Nákupní vozíky lze rozdělit podle toho, v jakém typu obchodu se vyskytují a jaké jsou na ně kladeny požadavky, které vznikají z druhu nákupu.

Vozíky pro malý nákup

Tyto typy vozíků jsou zejména určeny pro starší osoby a osoby tělesně postižené, které preferují malé až středně velké nákupy. Vyznačují se přiměřeně hlubokým a celkově menším košem, aby bylo snadnější vyložení nákupu. [12,13]



Obr. 1.1. – Vozíky pro malý nákup

Standardní vozík

Nejrozšířenější typ vozíku, který lze na trhu spatřit, což se odvíjí i na počtu variant, ve kterých je vyráběn. Hlavním rozdílným prvkem je objem koše, pohybuje se od 75 l do 240 l. Jelikož se jedná o vozík nejčastěji využívaný k „rodinným nákupům“, nalezneme v jeho výbavě dětskou sedačku a spodní rošt. [12,13]



Obr. 1.2. – Standardní nákupní vozíky

Transportní vozíky

Vozíky s všestranným použitím. Vhodné pro prodejny s elektrospotřebiči, diskonty s nápojovými centry, zahradnická centra, obchody se stavebním materiálem a různé sklady. Vyznačují se robustnější konstrukcí určenou pro velké nosnosti, až do 250 kg. [12,13]



Obr. 1.3. – Transportní vozíky

1.3. Energetické zdroje pro mobilní podvozky (Akumulátory)

Mezi nejvhodnější zdroj energie pro mobilní podvozky byly určeny dva typy akumulátorů. Prvním typem je Olověný akumulátor trakční, který se vyznačuje nízkou

cenou ovšem vyšší hmotností, druhým typem je Lithiový akumulátor, který je přesným opakem, má nižší hmotnost, což se ale projevuje na ceně, která je podstatně vyšší.

Olověné akumulátory

Olověný akumulátor je galvanický článek s elektrodami na bázi olova, jehož elektrolytem je kyselina sírová. Olověné akumulátory jsou nejpoužívanějším elektrochemickým zdrojem energie. Vyrábějí se v kapacitách řádově od 1 do 10 000 Ah. Hlavními výhodami je dobře zvládnutá technologie výroby, relativně nízká cena a vysoký výkon – např. pro startování automobilu by se jiné články než olověné použít prakticky nedaly. [15,16]

Dělení podle technologie:

- **se zaplavenými elektrodami** (elektrolyt je volně nalitá kapalina mezi elektrodami)
- **VRLA** (ventilem řízené olověné akumulátory, jde o označení zapouzdřených akumulátorů se zamezením ztrát elektrolytu)
 - **AGM** (elektrolyt je nasáknut ve skelné vatě, která je mezi elektrodami)
 - **Gelové** (elektrolyt je zahuštěný ve formě gelu)

Dělení podle použití:

- **Záložní** - UPS, bezpečnostní systémy, ...
- **Startovací** - autobaterie, ...
- **Trakční** - golfové vozítka, vysokozdvizné vozíky, ... [15,16]

Cykly a životnost olověných akumulátorů

Olověný akumulátor má omezení, které spočívá v tom, že když je vybit – i částečně – a delší dobu v tomto stavu setrvá, tak na jeho elektrodách dochází k prakticky nevratným změnám tzv. sulfataci, která výrazně snižuje jeho kapacitu. Proto poté, co je olověný akumulátor používán, je potřeba ho brzy dobít. [15]

1.3.1. Olověné akumulátory Trakční

Speciální baterie navržené pro hluboké vybití mnohem méně podléhají opotřebení elektrod při vybíjení a nabíjení a používají se tam, kde se baterie pravidelně vybíjejí a nabíjejí. Tyto baterie mají tlusté elektrody, které nejsou schopny dodat velký proud, jako startovací baterie, ale vydrží časté a hluboké vybíjení.

Tyto akumulátory se řadí do skupiny VRLA a vyrábějí se v modelech jak AGM tak v Gelové formě. Jsou zcela bezúdržbové, nerozbitelné a velmi odolné proti otřesům. Mohou pracovat téměř v jakékoliv poloze. [16]

Hmotnost (kg)	9.25
kapacita (Ah)	26
napětí (V)	12
max. vybíjecí proud (A)	350
délka (mm)	166
šířka (mm)	175
výška (mm)	125
typ konektoru	12x12x2
typ konektoru značení	B1/B3



Obr. 1.4. – Akumulátor CSB EVX 12260, 26Ah, 12V

1.3.2. Lithiové akumulátory

Jedná se o akumulátory postavené na lithium železo fosfátu (LiFePO_4). Toto označení získaly díky katodě vyrobené z tohoto materiálu. Anoda je jako u ostatních li-ion baterií vyrobená z uhlíku. Mezi jejich hlavní přednosti oproti klasickým lithium iontových akumulátorům patří především schopnost dodat vyšší proud a to, že při extrémních podmínkách nevybuchují. Na druhou stranu mají o něco nižší napětí a také nižší hustotu energie (při stejném objemu mají nižší kapacitu). LiFePO_4 technologie je zajímavá hlavně díky svým benefitům jako jsou nízké výrobní náklady, je zcela netoxická (na rozdíl od klasických li-ion), má vyjímečnou teplotní stabilitu, velmi dobrý elektrochemický výkon a vysokou kapacitu až 170 mAh/g. [17]

Hmotnost (kg)	6
kapacita (Ah)	40
napětí (V)	10-17
max. vybíjecí proud (A)	30
max. nabíjecí proud (A)	40
šířka (mm)	196
výška (mm)	161
délka (mm)	128



Obr. 1.5. – Lithiový akumulátor TS-LP12V40Ah

1.4. Pohon mobilních podvozků

Stejnoseměrné elektromotory

Stejnoseměrný elektromotor je často používaným typem motoru v oblasti pohonu mobilních robotů, golfových vozíků, elektrovozíků pro invalidy atd.

Princip stejnosměrného motoru je následující – Proud protékající smyčkou se chová stejně jako permanentní magnet, který se může otáčet. Díky komutátoru se navíc dvakrát za otáčku změni jeho polarita. Jelikož souhlasné póly magnetů se odpuzují, tak pokud je komutátor nastavený tak, že se polarita magnetů změni v okamžiku, kdy jsou si jejich opačné póly nejbližší, tak budou na pohyblivý magnet neustále působit síly, které ho budou nutit k pohybu. [18]

Mezi jeho výhody patří zejména velice příznivý poměr cena/výkon a široká nabídka. Mezi nevýhody patří složitější a tedy i dražší rychlostní a zejména polohové řízení v porovnání například s krokovým motorem, dále díky komutátoru je pak tento motor zdrojem elektromagnetického rušení. Stejnoseměrný motor obvykle pracuje na relativně vysokých otáčkách a nízkém momentu, což je pro pohon stroje nevýhodné. Řešením je použít převodovku, může být již součástí daného motoru (obr. 1.7), nebo připojena pomocí přírub, či jiného spojovacího materiálu (obr. 1.6). Spolu s převodovkou se motor také může dodávat již se senzorem polohy a rychlosti. Výhodou je kompaktnost takového pohonu.

Nejrozšířenějším způsobem řízení otáčivé rychlosti stejnosměrného motoru je řízení změnou napětí v obvodu kotvy. Podle způsobu zapojení budicího vinutí se rozlišují stejnosměrné motory:

- **S paralelním buzením** (derivační); motor má tvrdou momentovou charakteristiku, tj. otáčky se mění málo se zatížením,
- **Se sériovým buzením** (sériové); motor má měkkou momentovou charakteristiku a nesmí pracovat nezatížen, protože by došlo k nebezpečnému zvýšení otáček, při kterých by se poškodila kotva. Jsou vhodné pro velké záběrové momenty,
- **S cizím buzením**; motor má dostatečně tvrdou momentovou charakteristiku ve velkém rozsahu zátěžných momentů a velmi dobré dynamické vlastnosti, [4]



Obr. 1.6. – Stejnosměrný motor se šnekovou převodovkou



Obr. 1.7. – Kolo se zabudovaným pohonem [20]

2. Požadavkový list

Vozík pro malý nákup

Hlavní požadavky:

- **Nosnost** - max. 30 kg
- **Výdrž akumulátoru** - min. 1 hod (na jedno nabití)
- **Maximální rychlost** - max. 4 km/hod

Funkční požadavky:

- Vyšší dno pro lepší ukládání nákupu a vykládání nákupu-lepší manipulace
- Lehké a přehledné ovládání
- Elektronické vybavení (ukazatel stavu baterie, čtečka kódů, ...)

Standardní vozík

Hlavní požadavky:

- **Nosnost** - max. 100 kg
- **Výdrž akumulátoru** - min. 2 hod (na jedno nabití)
- **Maximální rychlost** - max. 6 km/hod

Funkční požadavky:

- Odolnost vůči prachu a vodě
- Možné vyjetí na parkoviště
- Interface pro uchycení dětské sedačky
- Elektronické vybavení (ukazatel stavu baterie, čtečka kódů, ...)

Transportní vozík

Hlavní požadavky:

- **Nosnost** - max. 180 kg
- **Výdrž akumulátoru** - min. 1,5 hod (na jedno nabití)
- **Maximální rychlost** - max. 5 km/hod

Funkční požadavky:

- Odolnost vůči prachu a vodě
- Možné vyjetí na parkoviště
- Elektronické vybavení (ukazatel stavu baterie, čtečka kódů, ...)

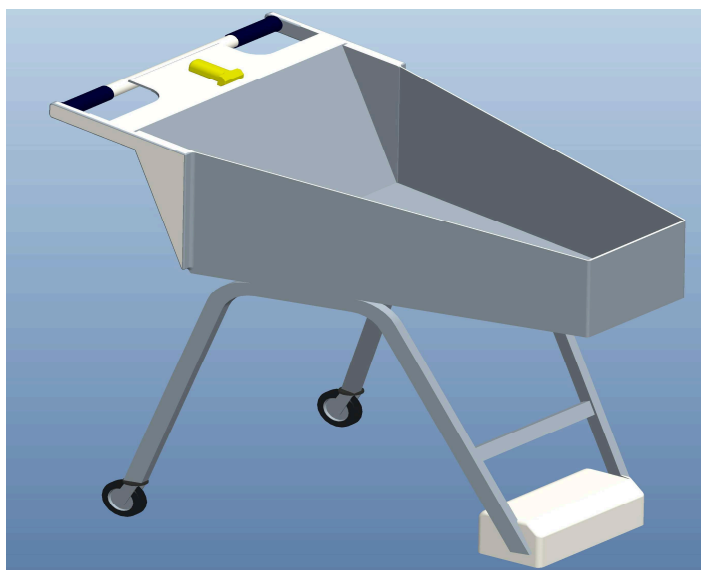
3. Navržené varianty

Vzhledem k nízké využitelnosti motorizovaného nákupního vozíku standardního typu nebyly pro tuto možnost navržené varianty. Tento typ by neměl tak velké využití a také by docházelo k velkým ztrátám, co se týče provozu a údržby.

3.1. Navržené varianty vozíku pro malý nákup

Varianta 1a

Konstrukčně jednoduchá varianta z ocelového tenkostěnného rámu. Ovládaní formou gripu (jako u elektroskútrů). Pohon řešen pomocí stejnosměrného motoru a šnekové převodovky umístěné u předního kola. Vůči pevně uloženému přednímu kolu je zatáčení možno jen zadními otočnými koly.



Obr. 3.1. - 3D model varianty 1A

Základní parametry:

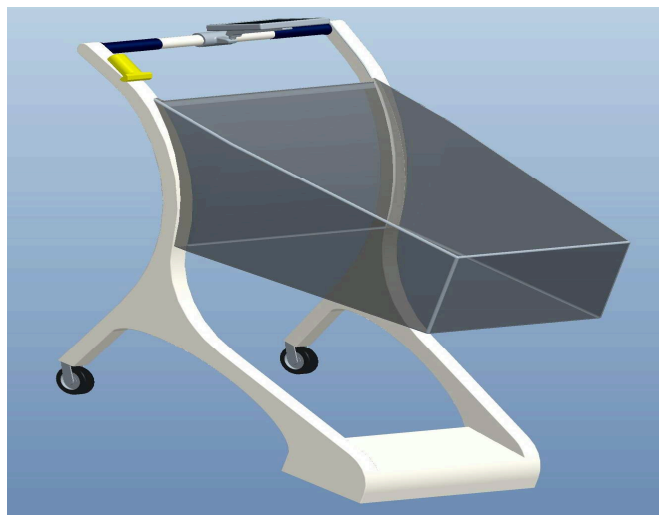
- **Nosnost** - 35 kg
- **Hmotnost** - 15 kg
- **Maximální rychlost** - 4 km/hod

Varianta 1B

Oproti variantě 1A se jedná o podstatně dražší model. Konstrukce vozíku je plastového rázu vyztužena ocelovými profily, které zabraňují případným materiálovým vadám, které se mohou časem na plastové konstrukci projevit. Pohon se taktéž nachází na předním kole, ovšem už se nejedná o sestavu motoru a převodovky, ale o pohon formy AETHON TUG (obr. 3.3), který umožňuje ovládat zatáčení předního kola a také vlastní automatickou navigaci je schopen zákazníka dovést na požadované místo. Z důvodu použití tohoto pohonu je potřeba vybavit vozík ovládacím počítačem, ve kterém je možno nalézt další funkce, např. kalkulátor.



Obr. 3.3. – Pohon AETHON TUG [19]



Obr. 3.2. – Varianta 1B

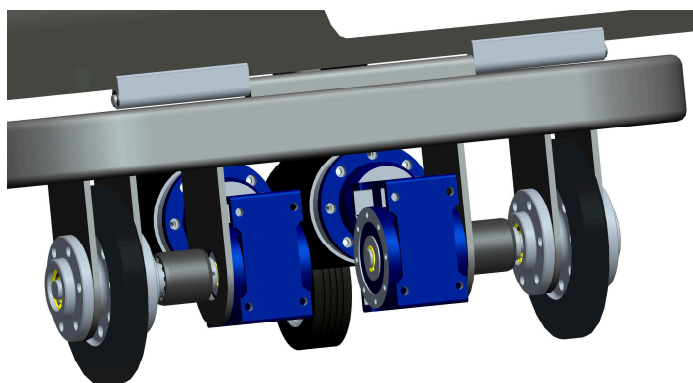
Základní parametry:

- **Nosnost** - 40 kg
- **Hmotnost** - 15 kg
- **Maximální rychlost** - 5 km/hod

3.2. Navržené varianty transportních vozíků

Varianta 2A

Varianta 2A obsahuje dvě pohonné jednotky, uložené v přední části vozíku, které dávají zákazníkovi možnost ovládat zatačení bez vynaložení vlastní síly, což může být nepatrnou výhodou. Díky dvěma pohonným jednotkám (obr. 3.4) vozík také snese větší zátěž. Samozřejmě že všechno kladné má své záporné stránky, v tomto případě se projeví na složitosti konstrukci, větší poruchovosti a ceně jak pořizovací, tak i ceně co se týče nákladů a údržby během provozu.



Obr. 3.4. – Detail varianty 2A



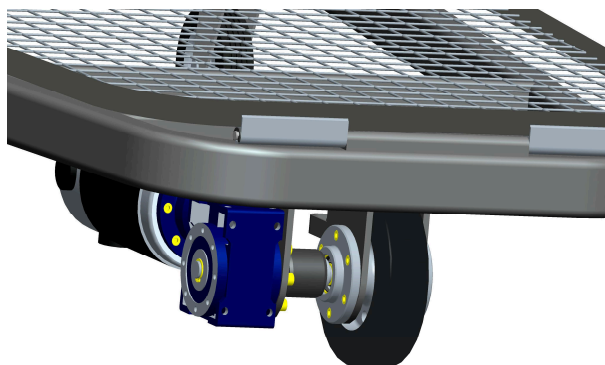
Obr. 3.5. – Varianta 2A

Základní parametry:

- **Nosnost** - 170 kg
- **Hmotnost** - 45 kg
- **Maximální rychlost** - 5 km/hod

Varianta 2B

Vzhledově a rozměrově se jedná o podobný vozík, změna nastává u pohonu, který v tomto případě tvoří pouze jeden motor se šnekovou převodovkou (obr. 3.6), tudíž už nenastává možnost ovládat řízení a zákazník bude muset k tomuto úkonu vynaložit vlastní sílu. Což se ale projeví na údržbě a pořizovací ceně, která bude v tomto případě nižší než u předchozího modelu, další výhodou bude případná poruchovost, která díky jednomu pohonu značně klesne.



Obr. 3.6. – Detail varianty 2B



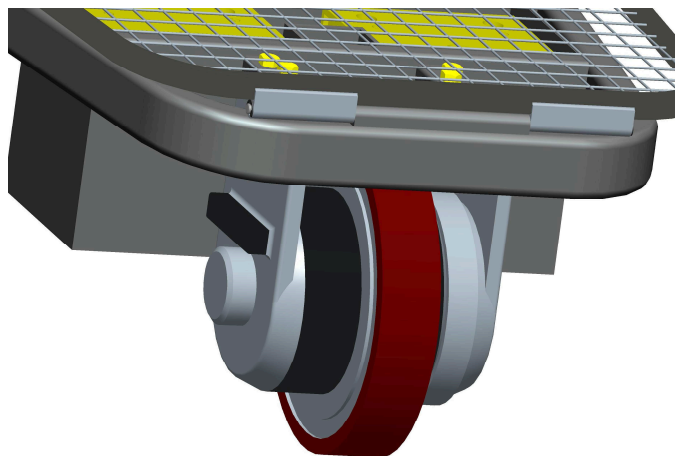
Obr. 3.7. – Varianta 2B

Základní parametry:

- **Nosnost** - 135 kg
- **Hmotnost** - 40 kg
- **Maximální rychlost** - 4 km/hod

Varianta 2C

Varianta 2C se konstrukčně už více liší oproti variantám 2A a 2B. Konstrukce je rozměrově menší, s nižší nosností. Výrazným a snad nejvíce odlišným prvkem je pohon, v tomto případě se jedná o poháněné kolo firmy AMER (obr. 3.8). Toto kolo nemá tak velký výkon, což se projeví na maximální nosnosti vozíku, kterou je schopen uvést. Ovšem montáži a uchycení kola je značně jednodušší.



Obr. 3.8. – Detail varianty 2C [20]



Obr. 3.9 – Varianta 2C

Základní parametry:

- **Nosnost -** 90 kg
- **Hmotnost -** 32 kg
- **Maximální rychlost -** 5 km/hod

4. Výběr vhodné varianty

4.1. Analýza využití jednotlivých typů

Už před navržením variant byl jako nevhodný typ pro motorizaci vozíku určen standardní vozík, který by se v tomto směru uplatnil jen minimálně. U vozíku pro malé nákupy a transportních vozíků už je využití daleko větší, ale při vybrání pouze jednoho směru s těchto dvou typů už je potřeba vzít v úvahu všechny výhody a nevýhody.

Vozík pro malý nákup

Výhody:

- Usnadnění nákupu starším a tělesně postiženým osobám
- Malé požadavky na konstrukci a odolnost vůči vnějším vlivům

Nevýhody:

- Zvládnutí ovládaní ze strany zákazníků
- Vhodné uložení a zacházení s vozíkem
- Využitelnost v porovnání s cenou nebude tak velká

Transportní vozík

Výhody:

- Usnadnění nákupu při převážení větších hmotností
- Možnost využití nejen v obchodech s elektronikou, se stavebním materiálem či obchodech, kde se prodává zboží po kartónech, ale také ve skladech a všude tam, kde je potřeba něco převážet.
- Možnost většího hlídání a monitorování vozíku
- Celkově vyšší využitelnost
- Ovládání převážně mladší skupinou zákazníků = lepší zvládnutí ovládaní vozíku

Nevýhody:

- Podstatně větší vnější vlivy (vlhkost, prašnost, ...)
- Horší provozní podmínky při větším zatížení

Po zvážení všech výhod a nevýhod byly pro další postup vybrány varianty **transportního vozíku**, tudíž 2A, 2B, 2C. Tyto varianty budou dále zpracovány v hodnotové analýze, kde bude vybrána pouze jedna a ta bude následně konstrukčně řešena.

4.2. Hodnotová analýza

4.2.1. Kritéria rozhodování

V tabulce Tab. 1. je seznam vybraných kritérií a jejich popis, na základě kterých jsou navrhované varianty posuzovány a hodnoceny. Tyto kritéria budou hodnocena bodovou stupnicí v tabulce Tab. 2. o rozsahu od 1 do 6. Čím je počet bodů vyšší, tím je kritérium pro danou variantu příznivější a naopak. [2,3]

Označení kritéria	kritéria	Charakteristika kritéria
K1	cena	celková pořizovací cena
K2	složitost konstrukce	složitost výroby součástí a jejich montáž
K3	nosnost	hmotnost přepravovaného nákladu
K4	ovladatelnost	řízení vozíku během používání
K5	náročnost na údržbu	možnost poruchy, pravidelnost údržby

Tab. 1. – Popis kritérií a jejich charakteristika

Vysoká úroveň	6b.
Dobrá úroveň	5b.
Průměrná úroveň	4b.
Nízká úroveň	3b.
Nevyhovující úroveň	2b.
Nepříznivý stav	1b.

Tab. 2. – Bodová stupnice

4.2.2. Zhodnocení kritérií

V tabulce Tab. 3. Je bodové vyhodnocení na základě zvolených kritérií pro jednotlivé varianty.

Kritérium	Varianta 2A	Varianta 2B	Varianta 2C
K1 – cena	nevyhovující 2	přijatelná 5	přijatelná 4
K2 – složitost konstrukce	složitá 3	přijatelná 4	přijatelná 5
K3 – nosnost	170kg 5	135kg 4	90kg 3
K4 – ovladatelnost	přijatelná 5	přijatelná 4	přijatelná 4
K5 – náročnost na údržbu	složitá 3	přijatelná 4	přijatelná 5

Tab. 3. – Zhodnocení kritérií

4.2.3. Váha významnosti jednotlivých kritérií

Porovnané páry kritérií				Počet voleb v	pořadí	Váha významnosti q
K1 K2	K1 K3	K1 K4	K1 K5	3	2	1,75
	K2 K3	K2 K4	K2 K5	1,5	3,4	1,375
		K3 K4	K3 K5	1,5	3,4	1,375
			K4 K5	3,5	1	1,875
				0,5	5	1,125

Tab. 4. – Váha významnosti jednotlivých variant

Pro váhu významnosti q byla zvolená lineární závislost: $q = 0,25 * v + 1$

v – počet voleb

4.2.4. Výpočet vážených indexů l_{ij} jednotlivých variant

Kritérium	Varianta 2A		
	Hodnota	Váha významnosti kritéria q	Vážený index kritéria l_{ij}
K1	2	1,75	3,5
K2	3	1,375	4,125
K3	5	1,375	6,875
K4	5	1,875	9,375
K5	3	1,125	3,375
Celkový součet vážených indexů l_{ij} varianty A:			27,25

Tab. 5. – Výpočet vážených indexů varianty 2A

Kritérium	Varianta 2B		
	Hodnota	Váha významnosti kritéria q	Vážený index kritéria l_{ij}
K1	5	1,75	8,75
K2	4	1,375	5,5
K3	4	1,375	5,5
K4	4	1,875	7,5
K5	4	1,125	4,5
Celkový součet vážených indexů l_{ij} varianty 2B:			31,75

Tab. 6. – Výpočet vážených indexů varianty 2B

Kritérium	Varianta 2C		
	Hodnota	Váha významnosti kritéria q	Vážený index kritéria l_{ij}
K1	4	1,75	7
K2	5	1,375	6,875
K3	3	1,375	4,125
K4	4	1,875	7,5
K5	5	1,125	5,625
Celkový součet vážených indexů l_{ij} varianty 2C:			31,125

Tab. 7. – Výpočet vážených indexů varianty 2C

4.2.5. Součet vážených indexů a stanovení pořadí variant

Pořadí	Celkový součet vážených indexů l_{ij}	Varianta
1	31,75	2B
2	31,125	2C
3	27,25	2A

Tab. 8. – Výsledky hodnotové analýzy

Po provedení hodnotové analýzy a zvážení dalších kritérií, byla vybrána varianta 2B.

5. Konstrukce motorizovaného nákupního vozíku



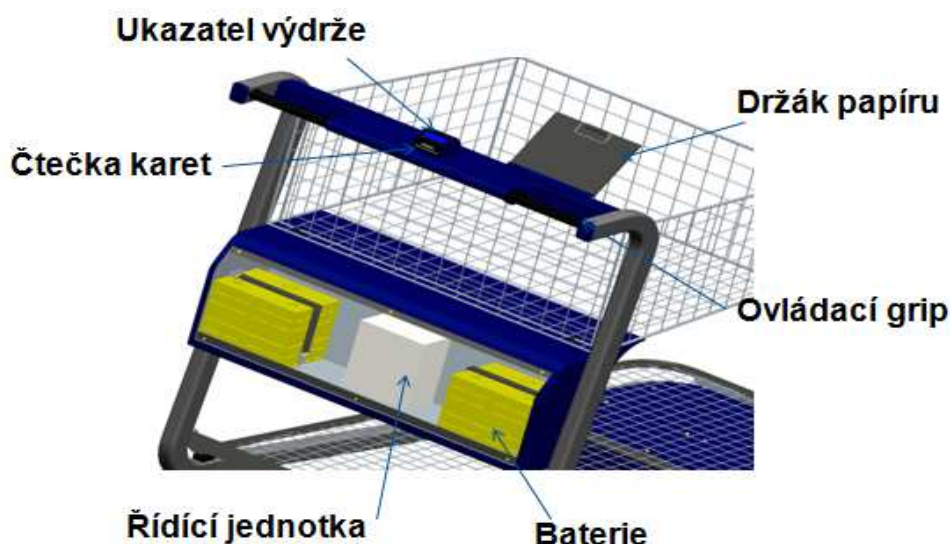
Obr. 5.1. – 3D model kompletní optimální varianty

Motorizovaný nákupní vozík slouží k zjednodušení a hlavně usnadnění nakupování a převozu materiálu a zboží. Hlavní nosnou částí je rám, jedná se o hliníkovou svařovanou konstrukci chráněnou povrchovou úpravou (komaxitem). Rám mohl být vyroben také s tenkostěnných ocelových profilů, tato verze po přepočtu a porovnání nákladů na jeden metr materiálu s povrchovou úpravou vyšla levněji, ovšem rozdíl v ceně nebyl tak velký a hlavní úlohu hrála hmotnost, která by značně narostla. Na rám je pomocí spojovacího materiálu připevněn horní pult, horní koš, úložný prostor, spodní deska, otočná kola, nabíjecí systém, pohonná jednotka s poháněným kolem a samozřejmě plastové kryty, které nám chrání pohonnou jednotku vůči vnějším vlivům.



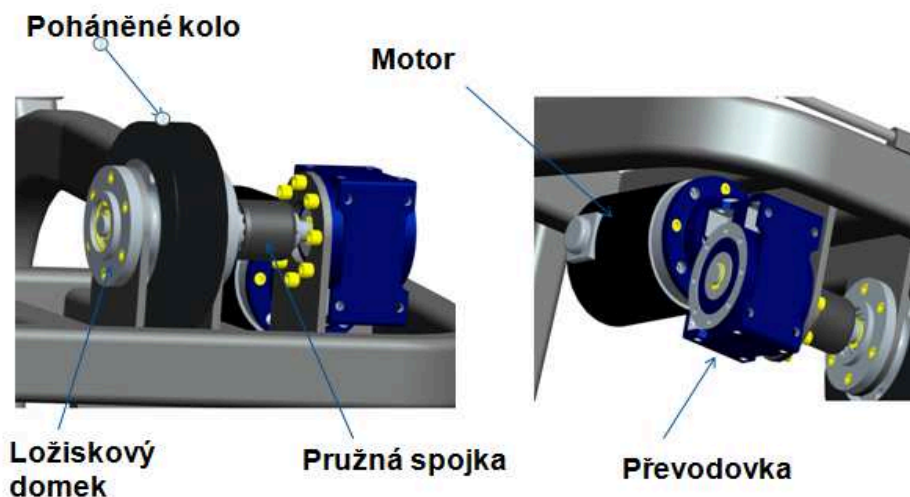
Obr. 5.2. – Hlavní části vozíku

Na horním pultu (Obr. 5.3) se nachází čtečka karet, která slouží jako bezpečnostní prvek, zjednodušeně řečeno slouží jako nynější zálohovač na mince či žetony. Tento vozík tak získají pouze majitelé karet, kteří jsou v evidenci obchodu, díky tomu budou také vozíky lépe chráněny před poškozením. Důležitou součástí je ukazatel stavu baterie, který informuje zákazníka, jak dlouho vozík vydrží. Na horní pult je možno přidělat čtečku čárových kódů, malý počítač s dotykovým displejem, který bude obsahovat kalkulačku, navigaci na jednotlivé nákupní oddělení, a další systémy, v základní variantě spatříme pouze držák na papír o velikosti A5. Ovládání vozíku je pomocí gripu (princip shodný jako u elektroskútrů). V úložném prostoru, který je na obrázku (Obr. 5.3) bez krytů, se nachází dva lithiové akumulátory a také řídicí jednotka, která je však jen zjednodušeně naznačena. Jak horní pult, tak úložný prostor jsou vyrobeny s plastu, v obou případech bylo myšleno na potřebnou elektrickou kabeláž, která bude navedena do rámu.



Obr. 5.3. – Zadní strana vozíku

Pohon motorizovaného vozíku je tvořen stejnosměrným motorem a šnekovou převodovkou jedné firmy, tato pohonná jednotka je připevněna k rámu (Obr. 5.4). Přenos krouticího momentu z hnací na hnanou hřídel a minimalizaci nesouososti mezi těmito členy nám zajišťuje pružná spojka. Poháněné kolo je nasazeno na hřídeli, která je uložena v ložiskových domcích. Ložiskové domky jsou připevněny k rámu a nachází se v nich jednořadá kuličková ložiska, které nám přenášejí jak radiální tak axiální sílu.



Obr. 5.4. – Uložení pohonné jednotky

5.1. Základní parametry motorizovaného vozíku

Výška x Šířka x Délka	1295 x 908 x 1420 (minimální výška)
	1375 x 908 x 1420 (maximální výška)
Hmotnost vozíku	40 kg
Nosnost vozíku	135 kg (udávána pro zákazníky)
	175 kg (při maximálním přeložení)
Maximální rychlost	4 km/hod.
Výdrž na jedno nabití	cca 2 hodiny

6. Parkování a dobíjení motorizovaného vozíku

6.1. Parkování motorizovaného vozíku

Parkování vozíku je řešeno tradičním způsobem tzv. zasouváním do sebe (Obr. 6.1). Rám, koš a spodní deska jsou konstrukčně řešeny tak, aby bylo zasunutí do sebe co největší a vozíky nezabíraly zbytečně moc místa, ovšem i při co nejlepším konstrukčním návrhu budeme omezováni pohonnou jednotkou.



Obr. 6.1. – Parkování vozíků

6.2. Dobíjení motorizovaného vozíku

Akumulátory, které dodávají energii pro pohon, vydrží cca. 2 hodiny provozu, po této době je nutné dobít. Vznikly dva požadavky a to – kde a jak se akumulátory dobíjí.

6.2.1. Možnosti dobíjení

Varianta 1

Zákazník, který ukončil nákup, odveze vozík na určené místo, kde jej předá skladníkovi, po předání si zákazník bude moci vytáhnout kartu ze čtečky, jinak by to nebylo možné, tímto způsobem se zamezí odložení vozíku zákazníkem na jakémkoliv možném místě. Po předání skladník vozík připojí k nabíjecímu konektoru, který může být řešen pomocí kabelu. V opačném případě, a to když se zákazník chystá nakupovat, si vozík vyzvedne s odběrného místa, kde mu ho skladník předá.

Výhody:

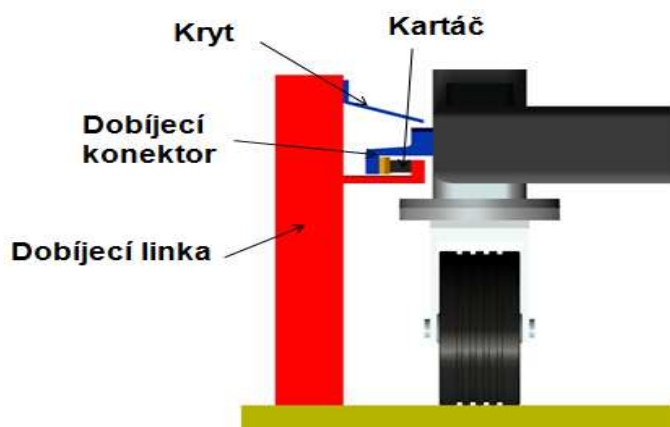
- Zákazník nemusí řešit dobíjení
- Vozíky není třeba vybavovat složitými dobíjecími systémy, stačí pouze konektor pro připojení kabelu

Nevýhody:

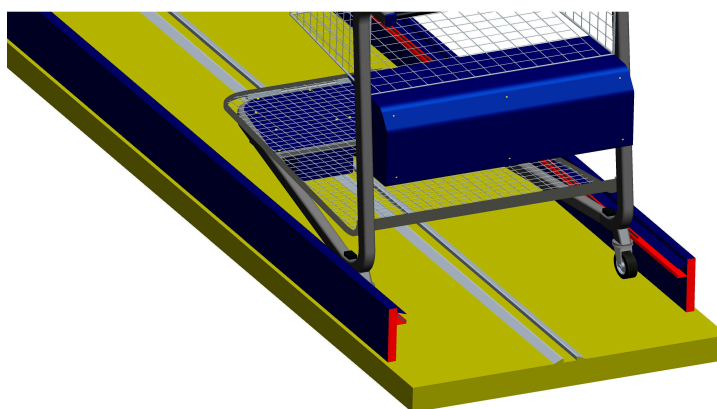
- Potřeba manipulační obsluhy = mnohem větší výdaje

Varianta 2

Hlavní částí této varianty je dobíjecí linka (Obr. 6.3), zákazník, který ukončil nákup, vozík do této linky zasune, ovšem nový zákazník si vezme vozík s opačného konce, kde jsou vozíky nabité a připravené k použití, v případě, že by vozík na předním místě nebyl ještě dobitý, nebylo by možné odběru a zákazník by musel k lince jiné. Posuv vozíku ze zadního místa na přední (odběrové) zaručí dopravník. Princip dobíjení (Obr. 6.2) je pak řešen následovně: na obou stranách vozíku máme dobíjecí konektory, po najetí na dobíjecí linku dojde k plošnému dotyku s plusovým na jedné straně a minusovým kartáčem na druhé straně, při tomto dotyku dojde k nabíjení akumulátorů. Tento typ přenosu energie můžeme vidět u autíčka na autodráze.



Obr. 6.2. – Dobíjecí systém, pouze levá strana



Obr. 6.3. – Ukázka dobíjecí linky

Výhody:

- Není potřeba obsluhy
- Celková automatizace linky

Nevýhody:

- Větší pořizovací výdaje
- Možné poškození dobíjecích konektorů na vozíku

Konstrukční návrh vozíku je na všech obrázcích zobrazován s dobíjecími konektory, které preferují variantu 2, ta byla posouzena jako výhodnější. Ovšem vozík lze přizpůsobit také pro variantu 1.

7. Technická zpráva a výpočty

7.1. Určení pohonu motorizovaného vozíku

Vstupní hodnoty

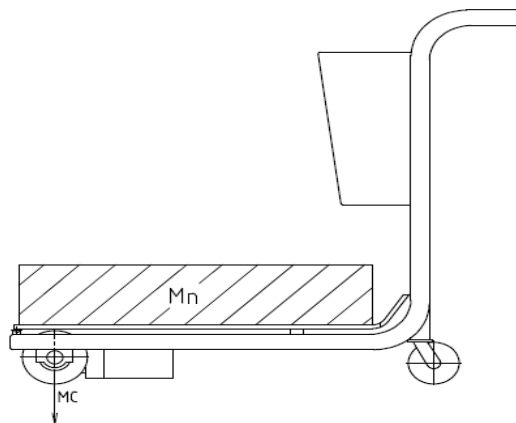
Rychlost vozíku	$v = 4 \text{ km/hod.} = 1,11 \text{ m/s}$
Zrychlení vozíku	$a_z = 0,6 \text{ m/s}^2$
Průměr poháněného kola	$R_1 = 0,075 \text{ m}$
Moment setrvačnosti poh. kola	$I_s = 0,0028 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
Nosnost vozíku	$M_n = 135 \text{ kg}$
Hmotnost vozíku	$M_v = 40 \text{ kg}$
Stoupání dráhy	$\alpha = 3^\circ$
Součinitel valivého tření	$\xi = (0,01-0,02)$

7.1.1. Určení otáček poháněného kola

$$n = \frac{v}{2 \cdot \pi \cdot R_1} \cdot 60 = \frac{1,11}{2 \cdot \pi \cdot 0,075} \cdot 60 = 142 \text{ min}^{-1} \cong 150 \text{ min}^{-1} \quad (1)$$

7.1.2. Rozložení hmotnosti na vozíku

Nosnost vozíku je 135 kg, hmotnost samotného vozíku je 40 kg. Tyto dvě hmotnosti se rozkládají jak na přední, tak obě zadní kola. Nejhorší situace působení hmotnosti pro nás nastane, když celková hmotnost M_c nám bude působit jen na přední kolo.



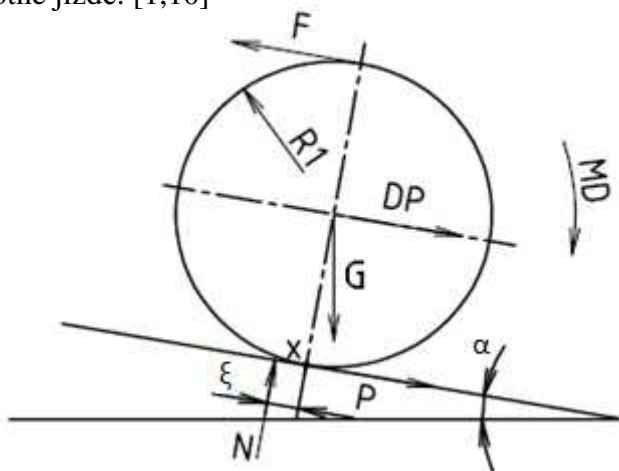
Obr. 6.1. – Rozložení hmotnosti na vozíku

Celková působící hmotnost M_c

$$M_c = M_v + M_n = 40 + 135 = 175 \text{ kg} \quad (2)$$

7.1.3. Určení působících sil a výpočet celkové síly F

Krouticí moment bude určen z celkové síly F potřebné pro pohyb kola. Tato síla bude opačného směru, než jsou všechny odpory (např. valivé tření) a síly, které na kolo působí při rozjezdu a samotné jízdě. [1,10]



Obr. 6.2. Schéma působících sil na kolo

Určení silové rovnice ve směru – y (kolmo k podlaze)

$$F i_y = 0$$

$$N - G \cdot \cos \alpha = 0 \quad (3)$$

Výpočet normálové síly z rovnice (3)

$$N = G \cdot \cos \alpha = M_c \cdot g \cdot \cos \alpha = 175 \cdot 9,81 \cdot \cos 3^\circ = 1714 N \quad (4)$$

Určení momentové rovnice k bodu dotyku x

$$M i_x = 0$$

$$M_D + D_p \cdot R_l + G \cdot \sin \alpha \cdot R_l + N \cdot \xi - F \cdot 2 \cdot R_l = 0 \quad (5)$$

Úprava momentové rovnice (5)

$$M_D + D_p \cdot R_l + G \cdot \sin \alpha \cdot R_l + N \cdot \xi - F \cdot 2 \cdot R_l = 0$$

$$I_s \cdot \varepsilon + M_c \cdot a_z \cdot R_l + G \cdot \sin \alpha \cdot R_l + N \cdot \xi - F \cdot 2 \cdot R_l = 0$$

$$I_s \cdot \frac{a_z}{R_l} + M_c \cdot a_z \cdot R_l + G \cdot \sin \alpha \cdot R_l + N \cdot \xi = F \cdot 2 \cdot R_l$$

$$\left(\frac{I_s}{R_l^2} + M_c \right) \cdot a_z + M_c \cdot g \cdot \sin \alpha + N \cdot \frac{\xi}{R} = F \cdot 2 \quad (6)$$

Dosazení do rovnice (6) a výpočet potřebné síly pro pohyb kola

$$F = \left(\left(\frac{0,0028}{0,075^2} + 175 \right) \cdot 0,5 + 175 \cdot 9,81 \cdot \sin 3^\circ + 1714 \cdot \frac{0,01}{0,075} \right) / 2 = 203 N \quad (7)$$

Ve výpočtu krouticího momentu je počítáno s bezpečností $k = 1,3$, ve které zahrnujeme přeložení vozíku, popřípadě nerovnosti na trati.

7.1.4. Určení krouticího momentu M_k

$$M_K = F \cdot R \cdot k = 203 \cdot 0,075 \cdot 1,3 = 19,7 Nm \quad (8)$$

Z provedených předběžných výpočtů byly získány parametry pro výběr hnacího pohonu.

$$M_K = 19,7 Nm$$

$$n = 142 \cong 150 \text{ min}^{-1}$$

Na základě odeslaného dotazovacího emailu, ve kterém byly uvedeny potřebné parametry, na firmu ELEKTROMOTORY PŘEVODOVKY s. r. o. byl panem Šustrem doporučen elektromotor firmy TRANSTECNO se šnekovou převodovkou od totožné firmy. [21,22]

Parametry elektromotoru a převodovky

EC350.240

$P_M = 350W$

$M_{KM} = 1,12Nm$

$U_M = 24V$

$n_M = 3000 \text{ min}^{-1}$

$I_M = 21A$

$M_M = 5,3kg$

MR30.i20.P63.B14

$M_{P_{\max}} = 50Nm$

$P_{P_{\max}} = 500W$

$i = 20$

$n_{P_{\max}} = 600 \text{ min}^{-1}$

$M_p = 1,2kg$

Jelikož motor i převodovka jsou od jedné firmy, můžeme s hodnotové tabulky (příloha č.3-tab. hodnoty pohonu) zjistit, jaký bude výstupní krouticí moment s převodovky M_{MP} , v tomto momentu už je zahrnuta i účinnost, z tohoto důvodu není potřeba provádět výpočty krouticího momentu v závislosti na účinnosti těchto komponentů.

Výstupní parametry

$M_{MP} = 20Nm$

$n = 150 \text{ min}^{-1}$

Porovnáním výstupních parametrů a parametrů potřebných pro pohon $M_{MP} > M_{K_k}$ je patrné, že daný pohon VYHOVUJE, i když se tyto parametry moc neliší, musíme vzít v úvahu, že výpočet byl prováděn pro nejhorší možnou variantu, ve které je zahrnut jak bezpečnostní koeficient, tak i stoupání terénu, které se při většině podmínek nevyskytuje.

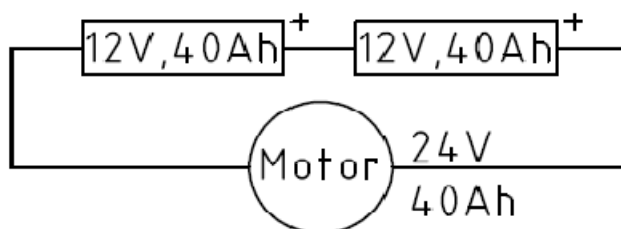
7.2. Výpočet výdrže akumulátorů

Na základě typu elektromotoru a průměrné doby využívání motorizovaného vozíku při nakupování popřípadě jinému typu využití, byla vybrána lithiová baterie na bázi $\text{LiFePO}_4(\text{LFP})$. [17]

Parametry volené baterie

Označení:	TS-LP12V40Ah
Napětí:	$U_A = 12\text{ V}$
Kapacita:	$C = 40\text{ Ah}$
Max. nabíjecí proud:	$I_{An} = 30\text{ A}$
Max. vybíjecí proud:	$I_{Av} = 40\text{ A}$
Hmotnost:	$M_A = 6\text{ kg}$

Elektromotor pracuje při napětí 24 V, tohoto napětí dosáhneme sériovým zapojením (Obr. 6.3) dvou akumulátorů.



Obr. 6.3. Schéma zapojení baterií

Výpočet výdrže akumulátorů byl proveden pomocí kalkulátoru na webových stránkách. [23]

Zadané hodnoty do kalkulátoru:

Teoretická kapacita – (jedná se o celkovou kapacitu baterií)	40 Ah
Peukertovo číslo – (konstanta určena typem baterie)	1.1
Rychlost vypouštění – (proud odebíraný elektromotorem)	max. 21 A

Předběžný výpočet výdrže

Teoretická kapacita	40	amp-hodin
Peukert je číslo	1.1	
Rychlost vypouštění	21	zesilovače
Skutečná kapacita	29.501089956511862	amp-hodin
100% vybití	1.404813807452946	hodin
80% vybití	1.1238510459623567	hodin
20% vybití	0.2809627614905892	hodin
Vypočítat		

Obr. 6.4. Předběžný výpočet výdrže akumulátorů

Z kalkulátoru (Obr. 6.4) je patrné, že akumulátor vydrží 1,12 hodin do 80 % vybití. Tento výpočet ovšem zkresluje celkovou výdrž akumulátorů. V běžném provozu nebude vozík zatížen celkovou nosností, která se nám projeví na potřebném krouticím momentu a tím pádem také na proudu odebíraném elektromotorem (rychlost vypouštění), z tohoto důvodu byl proveden výpočet (uveden v příloze č.2) pro střední krouticí moment, ze kterého byl proud odebíraný elektromotorem upraven na hodnotu 14 A, tato hodnota byla určena z tabulkových hodnot pohonu (uvedeno v příloze č.3-grafická charakteristika pohonu).

Výpočet akumulátoru pro reálný provoz

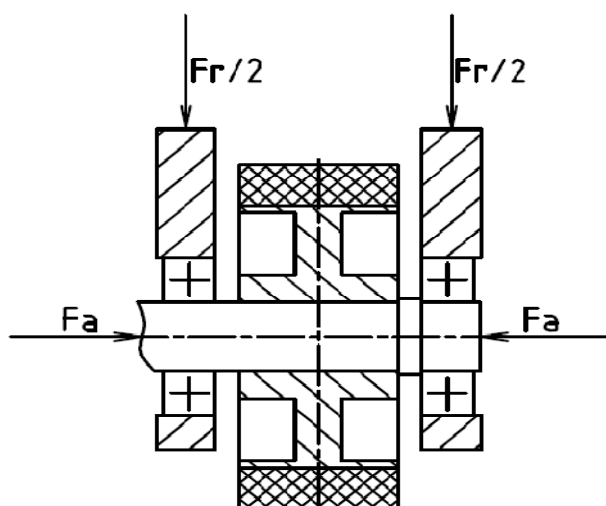
Teoretická kapacita	<input type="text" value="40"/>	amp-hodin
Peukert je číslo	<input type="text" value="1.1"/>	
Rychlost vypouštění	<input type="text" value="14"/>	zesilovače
Skutečná kapacita	<input type="text" value="30.721837506409397"/>	amp-hodin
100% vybití	<input type="text" value="2.1944169647435285"/>	hodin
80% vybití	<input type="text" value="1.7555335717948228"/>	hodin
20% vybití	<input type="text" value="0.4388833929487057"/>	hodin
<input type="button" value="Vypočítat"/>		

Obr. 6.5. Reálný výpočet výdrže akumulátoru

Pro upravené vstupní hodnoty, akumulátor do 80 % vybití vydrží 1,75 hodin. Každý zákazník neboli uživatel vozíku má odlišnou dobu nakupování, při ohledu na to, že se bude jednat o transportní vozíky, které budou využity v obchodech s elektrospotřebiči, se zahradním a stavebním materiálem, či do obchodů typu Makra je specifické to, že uživatel přibližně ví, co potřebuje a snaží se dobu nakupování zkrátit na minimum. K časové výdrži akumulátoru je ještě nutné připočítat prostoje, kdy je vozík nevyužíván.

7.3. Kontrola životnosti ložisek

Uložení předního poháněného kola je tvořeno dvěma kuličkovými ložisky s krytem firmy ZKL, která jsou zajištěna jak v radiálním tak axiálním směru, a na které budou tyto síly působit.



Obr. 6.6. Znázornění působení sil na ložiska

Vstupní parametry

Celková hmotnost	$M_c = 175 \text{ kg}$
Součinitel smykového tření	$\mu = 0,7 - 0,8$
Dynamická únosnost ložiska	$C_r = 5,594 \text{ kN}$
Otáčky hřídele	$n = 150 \text{ min}^{-1}$

Určení axiální a radiální síly

Výpočet radiální síly F_r

$$F_r = G = M_c \cdot g = 175 \cdot 9,81 = 1,717 \text{ kN} \quad (9)$$

Radiální síla na jedno ložisko

$$F_r / 2 = 1,717 / 2 = 0,858 \text{ kN} \quad (10)$$

Axiální síla působící na ložisko (Obr. 6.6) vzniká např. při zatáčení vozíku nebo při špatném naložení vozíku (většina nákladu je uložena na pravé či levé straně vozíku).

V tomto případě ji zjednodušeně označíme jako smykovou sílu, která bude vznikat mezi kolem a podlahou. [9]

Výpočet axiální síly

$$F_A = F_R \cdot \mu = 1,717 \cdot 0,7 = 1,717 \cdot 0,7 = 1,2 \text{ kN} \quad (11)$$

Axiální síla na jedno ložisko

$$F_A / 2 = 1,2 / 2 = 0,6 \text{ kN} \quad (12)$$

Životnost ložiska ověřena kalkulátorem (Obr. 6.7) na webových stránkách výrobce. Vstupními parametry byly axiální síla F_a , radiální síla F_r a otáčky hřídele n . [24]

The image shows a web-based calculator for bearing life. It has four main calculation areas:

- Základní trvanlivost 10^6 :** Inputs for $C = 5.594 \text{ kN}$ and $P = 1.20048 \text{ kN}$. The formula $L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p$ is shown. The result is $L_{10} = 101.2 \cdot 10^6$. A button 'Výpočet L10' is present.
- Výpočet P:** Inputs for $F_a = 0.6$ and $F_r = 0.858$. The formula $P_r = X.F_r + Y.F_a$ is shown. A button 'Výpočet P' is present.
- Základní trvanlivost h:** Input for $n = 150$. The formula $L_{10h} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n}$ is shown. The result is $L_{10h} = 11242.4 \text{ h}$. A button 'Výpočet L10h' is present.
- Základní trvanlivost km:** Input for D . The formula $L_{10km} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \cdot \frac{\pi D}{1000}$ is shown. The result is $L_{10km} = 11242.4 \cdot 10^3 \text{ km}$. A button 'Výpočet L10km' is present.

Obr. 6.7. Výpočet životnosti ložiska

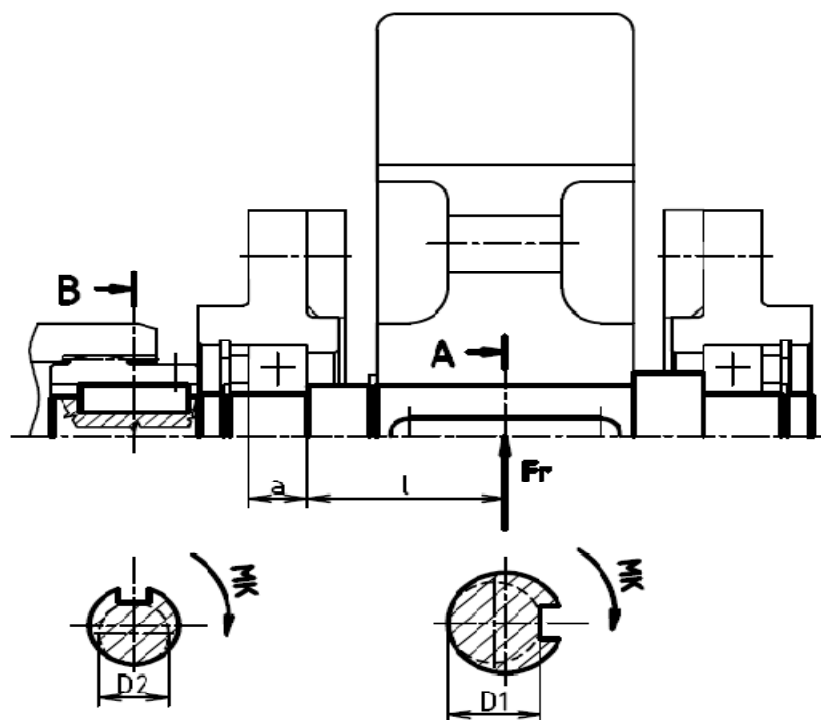
Z obrázku (Obr. 6.7) je patrná základní trvanlivost ložiska 11242,4 hod. Ve skutečnosti bude tato trvanlivost podstatně vyšší, jelikož váha působící na ložiska (celková hmotnost m_c) se více rozloží na zadní otočná kola. Kontrolu trvanlivosti porovnáme s tabulkovými hodnotami doporučené životnosti (Obr. 6.8), motorizovaný vozík spadá do kategorie se základní trvanlivostí od 8000 do 15000 hod., volené ložiska tedy VYHOVUJÍ.

Směrné hodnoty základní trvanlivosti v provozních hodinách		Tab. 4
Druh stroje	Základní trvanlivost L_{1000}	
	h	
přístroje a nářadí zřídka používané	1 000	
elektrické stroje pro domácnost, malé ventilátory	2 000 až 4 000	
stroje pro přerušovaný provoz, ruční nástroje, dílenské jeřáby, hospodářské stroje	4 000 až 8 000	
stroje pro přerušovaný provoz s požadovanou vysokou spolehlivostí, pomocné stroje v elektrárnách, pásové dopravníky, dopravní vozíky, výtahy	8 000 až 15 000	
válcovací stolice	6 000 až 12 000	
stroje pro 8–16hodinový provoz, stacionární elektromotory, ozubené převody, včetně textilních strojů, stroje na zpracování plastů, tiskařské stroje, jeřáby	15 000 až 30 000	
obráběcí stroje všeobecné	20 000 až 30 000	
stroje pro trvalý provoz: stacionární elektrické stroje, dopravní zařízení, válečková dopravníky, čerpadla, odstředivky, dmychadla, kompresory, tlukadlové mlýny, drtiče, briketovací lisy, důlní výtahy, lanové kotouče	40 000 až 60 000	
stroje pro trvalý provoz s velkou provozní bezpečností: elektrárnské stroje, vodárnské stroje, papírenské stroje, lodní stroje	100 000 až 200 000	

Obr. 6.8. Doporučená základní trvanlivost

7.4. Kontrola hnané hřídele

Navržená hřídel je kontrolována v místech, kde je nejvíce zatěžována a také tam, kde je nejmenší její nosný průměr. Dle obrázku (Obr. 6.9) se bude jednat o místo A a B.



Obr. 6.9. Schéma uložení kola

Vstupní parametry – dle obrázku (Obr. 6.9.)

Radiální síla	$F_r = 1,717 \text{ kN} = 1717 \text{ N}$
Krouticí moment	$M_k = 19,7 \text{ Nm} = 19700 \text{ Nmm}$
Dovolené napětí v ohybu	$\sigma_{Do} = 125 \text{ MPa}$
Dovolené napětí v krutu	$\tau_{Dk} = 90 \text{ MPa}$
Nejmenší průměr v místě A	$D_1 = 14,5 \text{ mm}$
Nejmenší průměr v místě B	$D_2 = 11,1 \text{ mm}$
Šířka ložiska	$a = 9 \text{ mm}$
Vzdálenost ložiska ke středu kola	$l = 31 \text{ mm}$

Kontrola hnané hřídele v místě A

V místě A (Obr. 6.9) je hřídel namáhána jak na ohybový, tak na krouticí moment. Výpočet je proto řešen přes redukovaný moment, který tyto momenty zahrnuje. [5,6]

Rovnice redukovaného napětí

$$\sigma_{red} = \frac{M_{o_{red}}}{W_o} \leq \sigma_{Do} \quad (13)$$

Rovnice redukovaného momentu

$$M_{o_{red}} = \sqrt{M_o^2 + 0,75 \cdot (\alpha_B \cdot M_K)^2} \quad (14)$$

Určení ohybového momentu

$$M_o = \frac{F_R}{2} \cdot \left(\frac{a}{2} + l \right) = \frac{1717}{2} \cdot \left(\frac{9}{2} + 31 \right) = 30,472 \text{ Nm} = 30472 \text{ Nmm} \quad (15)$$

Určení Bachova opravného součinitele

$$\alpha_B = \frac{\sigma_{Do}}{1,73 \cdot \tau_{Dk}} = \frac{125}{1,73 \cdot 90} = 0,8 \quad (16)$$

Dosazení do vztahu (14)

$$M_{o_{red}} = \sqrt{30472^2 + 0,75 \cdot (0,8 \cdot 19700)^2} = 33389 \text{ Nmm} \quad (17)$$

Výpočet modulu průřezu v ohybu

$$W_o = \frac{\pi}{32} \cdot D_1^3 = \frac{\pi}{32} \cdot 14,5^3 = 304,8 \text{ mm}^3 \quad (18)$$

Dosazení do rovnice (13)

$$\sigma_{red} = \frac{33389}{304,8} \leq 125 \rightarrow 109,5 \text{ MPa} \leq 125 \text{ MPa} \quad (19)$$

Porovnáním redukovaného napětí s dovoleným napětím v ohybu je patrné, že hřídel v místě A VYHOVUJE.

Kontrola hnané hřídele v místě B

V místě B (Obr. 6.9) je hnaná hřídel namáhána pouze na krouticí moment.[5,6]

Rovnice napětí v krutu

$$\tau_K = \frac{M_K}{W_K} \leq \tau_{Dk} \quad (20)$$

Určení modulu průřezu v krutu

$$W_K = 0,2 \cdot D_2^3 = 0,2 \cdot 11,1^3 = 273,5 \text{ mm}^3 \quad (21)$$

Dosazení do rovnice (20)

$$\tau_K = \frac{19700}{273,5} \leq \tau_{Dk} \rightarrow 72 \text{ MPa} \leq 95 \text{ MPa} \quad (22)$$

Napětí v krutu vyšlo menší než dovolené napětí v krutu, z toho je patrné, že hřídel v místě B VYHOVUJE.

8. Závěr

Bakalářská práce byla zpracovaná na základě kladených požadavků, kterým odpovídají výsledky práce. Nejprve byla provedena analýza možnosti nasazení motorizovaných nákupních vozíků v supermarketech a hypermarketech a ukázka použitelných pohonů s energetickými zdroji.

Byl sestaven požadavkový list pro všechny typy nákupních vozíků, díky kterému se jako nevyhovující jevílo využití standardního nákupního vozíku. Pro zbývající dva typy vozíků, a to vozík pro malý nákup a transportní vozík byly vytvořeny možné varianty. Cílem práce bylo vybrat pouze jednu variantu, proto byla použita analýza možnosti využitelností, ve které byl díky výhodám a nevýhodám vybrán typ transportního vozíku. Následoval výběr optimální varianty, byla použita hodnotová analýza, ve které se rozhodovalo dle různých kritérií z variant 2A, 2B, 2C. Optimální se stala varianta 2B se samostatným pohonem na přední poháněné kolo. Varianta 2C měla také velké šance na úspěch, ovšem i po zaslání dotazovacího emailu na společnost EPO s. r. o. nebyly včas získány potřebné informace ohledně tohoto typu pohonu. Varianta 2A se jevila jako zbytečně složitá, a náročná, měla ovšem také své plusy z hlediska řízení. Řízení celkově v této práci hrálo velkou roli, když vezmeme v úvahu např. elektronické vozíky pro invalidy, či golfové vozíky tak v každém z těch příkladů je možnost klasického zatáčení (ackermanovým způsobem), tuto možnost řízení je však obtížné aplikovat k nákupním vozíkům a to z důvodu menšího manipulačního prostoru, menšímu času co se týče reakce k zatočení a také hlavně z důvodu zvyklosti uživatele k ovládání vozíku. Optimální varianta je svým řízením podobná paletizačním či nízkozdvížným vozíkům, rozdíl je však v tom, že paletizační vozíky mají jedno otočné kolo a dvě pevně uložená bez možnosti zatáčení, kdežto optimální varianta má dvě otočné kola a jedno pevné.

V systému Pro/Engineer byl vytvořen 3D model optimální varianty. Na základě 3D modelu byl vypracován sestavný výkres v programu autoCAD. Výpočtová část se skládala z vyhledání a určení vhodného pohonu a jeho energetickému zdroji, dále bylo kontrolováno uložení poháněného kola, kde byl výpočet zaměřen na kontrolu ložisek a hnaného hřídele.

Práce je zaměřena na konstrukční návrh motorizovaného nákupního vozíku, ovšem je zde zmíněna i část, která se týká možnosti uskladnění a dobíjení motorizovaného vozíku

(jedná se však pouze o zjednodušenou možnost). V práci není řešeno řízení vozíků, je s ním však počítáno a konstrukce je přizpůsobena pro jeho další řešení a rozvod kabeláže.

9. Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] KÁRNÍK, Ladislav. *Servisní roboty*. VŠB - Technická univerzita Ostrava: Ediční středisko VŠB – TUO, 2004. 144 s. ISBN 80-248-06-6.
- [2] KONEČNÝ, Zdeněk. *Základy technické dokumentace*. Ostrava: VŠB v Ostravě, 2004. 86 s. ISBN 80-248-0514-6.
- [3] SKAŘUPA, Jiří. *Metodika konstruování*. 1. Vydání. Ostrava: VŠB v Ostravě, 1993. 149s. Fakulta strojní. ISBN 80-7078-167-X.
- [4] SKAŘUPA, Jiří; *Průmyslové roboty a manipulátory*. 1. Vydání. Ostrava: Editační středisko VŠB, 2007. 229 s. ISBN 978-80-248-1522-0.
- [5] LEINVEBER, Jan; VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. 1. Vydání. Praha: ALBRA, 2003. 865 s. ISBN 80-86490-74-2.
- [6] ZELENÝ, Jiří; *Stavba strojů-strojní součásti*. 2. Vydání. Brno: Computer Press, 2003. 155s. ISBN 80-7226-311-0.
- [7] ŠVERCL, Josef; *Technické kreslení a deskriptivní geometrie*. 1. Vydání. Praha: Scientia, spol. s. r. o., 2003. 341s. ISBN 80-7183-297-9.
- [8] ČSN ISO 690. *Bibliografické citace – obsah, forma a struktura*. Praha : Český normalizační institut, 1996. 32s.

Internetové zdroje

- [9] *Součinitel smykového tření* [online]. 2011 [cit. 2011-02-14]. Dostupný z WWW: <http://www.converter.cz/tabulky/smykove-treni.htm>
- [10] *Součinitel valivého tření* [online]. 2011 [cit. 2011-02-14]. Dostupný z WWW: <http://www.converter.cz/tabulky/valive-treni.htm>
- [11] *Nákupní vozík* [online]. 2011 [cit. 2011-02-18]. Dostupný z WWW: http://cs.wikipedia.org/wiki/N%C3%A1kupn%C3%AD_voz%C3%ADk
- [12] *Nákupní vozíky* [online]. 2011 [cit. 2011-02-18]. Dostupný z WWW: <http://intaz.cz/nakupni-voziky.html>

- [13] *Standardní a transportní vozíky* [online]. 2011 [cit. 2011-02-18]. Dostupný z WWW: <http://www.prodejni-zarizeni.cz/produkty/nakupni-voziky.htm>
- [14] *Otočná kola* [online]. 2011 [cit. 2011-03-12]. Dostupný z WWW: <http://www.navratilsro.cz/>
- [15] *Olověný akumulátor* [online]. 2011 [cit. 2011-03-16]. Dostupný z WWW: http://cs.wikipedia.org/wiki/Olov%C4%9Bn%C3%BD_akumul%C3%A1tor
- [16] *Trakční baterie* [online]. 2011 [cit. 2011-03-14]. Dostupné z WWW: <http://www.battery-import.cz/trakcni-baterie/>
- [17] *Lithiové baterie* [online]. 2011 [cit. 2011-03-14]. Dostupné z WWW: <http://www.auto88.cz/forum/showthread.php?t=7>
- [18] *Stejnoseměrný motor* [online]. 2011 [cit. 2011-03-14]. Dostupný z WWW: http://cs.wikipedia.org/wiki/Stejnosem%C4%9Bn%C3%BD_motor
- [19] *Pohon Aethon Tug* [online]. 2011 [cit. 2011-03-16]. Dostupný z WWW: <http://www.aethon.com/products/default.php>
- [20] *Kolo s pohonem* [online]. 2011 [cit. 2011-03-14]. Dostupný z WWW: <http://epo.cz/produkty/stejnosemerne-motory.html>
- [21] *Elektromotory Převodovky* [online]. 2011 [cit. 2011-03-14]. Dostupný z WWW: <http://www.elektromotory-prevodovky.cz/Stranky/Prodej>
- [22] *Katalog Transtecno* [online]. 2011 [cit. 2011-03-15]. Dostupný z WWW: http://pdf.directindustry.com/pdf/transtecno/dc-gearmotors-catalogue/Show/30755-135255-_76.html
- [23] *Kontrola baterií* [online]. 2011 [cit. 2011-04-10]. Dostupný z WWW: <http://www.gizmology.net/batteries.htm>
- [24] *Ložiska ZKL* [online]. 2011 [cit. 2011-04-10]. Dostupný z WWW: <http://www.zkl.cz/cs/cat/srbbws/6002zr>

10. Seznam příloh

1. Příloha č. 1 Montáž motorizovaného vozíku
2. Příloha č. 2 Výpočet středního krouticího momentu
3. Příloha č. 3 Katalogové listy pohonu
 - Motor EC 350.240
 - Grafická charakteristika motoru
 - Rozměrový list převodovky
 - Tabulkové hodnoty pohonu
4. Příloha č. 4 Výkresová dokumentace
 - Sestavný výkres - Robotizovaný vozík POS352-ROB2
 - Výrobní výkres - Ložiskový domek POS352-ROB2-16
 - Kusovník list 1 - POS352-ROB-K
 - Kusovník list 2 - POS352-ROB-K
 - Kusovník list 3 - POS352-ROB-K
5. Příloha č. 5 3D Model optimální varianty
6. Příloha č. 6 CD

Obsah CD:

- Výkresová dokumentace v AutoCADU
- Bakalářská práce .doc
- 3D Model optimální varianty v systému Pro/Engineer
- Přílohy bakalářské práce
- Katalogový list